

# Suivi écologique des populations de poissons sur les modules ReFISH dans les ports de La Seyne-sur-Mer, de Toulon Darse Nord et de Toulon Vielle Darse

Année 2023



## Fiche documentaire

<b>Titre du rapport : Suivi écologique des populations de poissons sur les modules ReFISH dans les ports de La Seyne-sur-Mer, de Toulon Darse Nord et de Toulon Vielle Darse</b>	
<b>Référence interne :</b> ODE/UL/LERPAC  <b>Diffusion :</b> <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet)  <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ  <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	<b>Date de publication :</b> 29/11/2023  <b>Version :</b> 1.0.0  <b>Référence de l’illustration de couverture</b> Ifremer/O. Dugornay  <b>Langue(s) :</b> Français
<p><b>Résumé :</b> Les écosystèmes marins côtiers subissent une dégradation croissante due aux effets conjoints du changement climatique et de l'urbanisation. Afin de palier à l'artificialisation et l'homogénéisation des milieux desquels dépendent de nombreuses espèces, des structures artificielles ont été installées dans quatre ports de la rade de Toulon afin de restaurer la fonction nurserie des poissons.</p> <p>Ce rapport examine l'efficacité de ces modules ReFISH, déployé par la Chambre de Commerce et d'Industrie du Var en partenariat avec Suez Consulting. L'Ifremer a effectué des suivis écologiques pendant quatre années, évaluant la densité, la diversité spécifique, et la répartition entre poissons juvéniles et adultes.</p> <p>Les résultats montrent que les modules ReFISH accueillent une diversité typique des ports méditerranéens, avec une proportion significative de jeunes poissons (55 % sur quatre ans). Les saupes, sparillons, et sars à tête noire dominent les observations. La densité de poissons varie entre les ports, avec des valeurs plus élevées à Saint Louis du Mourillon. La richesse spécifique et la proportion de juvéniles ne diffèrent significativement qu'à Saint Louis du Mourillon, suggérant des conditions environnementales plus favorables.</p> <p>L'étude souligne l'efficacité des modules ReFISH pour attirer et abriter une diversité d'espèces, tout en mettant en évidence des variations entre les ports. En conclusion, les modules ReFISH jouent un rôle prometteur dans la restauration écologique des zones portuaires méditerranéennes. Néanmoins, leur installation sur des quais plutôt que sous des pontons est recommandée.</p>	
<b>Mots-clés :</b> Réhabilitation, Littoral, Poissons, Ports, Méditerranée, Espèces non indigènes.	
<b>Comment citer ce document :</b>	

Disponibilité des données de la recherche :

DOI :

<b>Commanditaire du rapport : Chambre de Commerce et d'Industrie du Var</b>	
<b>Nom / référence du contrat :</b>	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif (réf. interne <b>du rapport intermédiaire</b> : R.DEP/UNIT/LABO AN- NUM/ID ARCHIMER)	
<b>Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit</b> (programme européen, campagne, etc.) :	
<b>Auteur(s) / adresse mail</b>	<b>Affiliation / Direction / Service, laboratoire</b>
auteur 1 : Oriane Lavignon/ Oriane.Lavignon@ifremer.fr	ODE/UL/LER-PAC
auteur 2 : Etienne Joubert/ Etienne.Joubert@ifremer.fr	ODE/UL/LER-PAC
auteur 3 : De Vogüé Benoist / Benoist.De.Vogue@ifremer.fr	ODE/UL/LER-PAC
auteur 4 : Bouchoucha Marc / Marc.Bouchoucha@ifremer.fr	ODE/UL/LER-PAC
Encadrement(s) : Marc Bouchoucha	
Destinataire : Chambre de Commerce et d'Industrie du Var	
<b>Validé par : Marc Bouchoucha</b>	

## Sommaire

### Table des matières

<b>I. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>II. Matériel et Méthodes .....</b>	<b>9</b>
II. 1. Localisation .....	9
II. 2. Description des modules et répartition dans les ports .....	9
II. 3. Protocole de suivi écologique.....	10
<b>III. Résultats.....</b>	<b>13</b>
III. 1. Comparaison de la densité au sein des différents ports .....	19
III. 2. Richesse spécifique par port et année .....	21
III. 3. Comparaison de la répartition adultes/YOY au sein des différents sites.....	22
III. 4. Principaux YOY.....	26
III. 5. Résultats sur les communautés de la faune fixée .....	27
<b>Conclusion .....</b>	<b>30</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>31</b>

## Table des figures

Figure 1 : Localisation des ports et des sites équipés de modules ReFish au sein des ports (TDN : Toulon Darse Nord, TDV : Toulon Vielle Darse, SLM : Saint Louis du Mourillon, SSM : la Seyne Sur Mer) sources : géoportail.fr .....	9
Figure 2 : Modules ReFISH (fixés sur un quai, rangée double ou simple, suspendus à un ponton flottant, rangée double ou simple) .....	10
Figure 3 : Espèces de poissons majoritairement observées sur les modules ReFISH en 2023 .....	13
Tableau I : Occurrence des espèces de poissons recensées par années de 2020 à 2023 sur les ports de SSM, SLM, TDN et TDV .....	15
Figure 4 : Densité de poissons par port sur l'année 2023 .....	19
Figure 5 : Densité de poissons par port et par année .....	19
Figure 6 : Richesse spécifique par port et par année .....	21
Figure 7 : Proportion de juvéniles par port sur l'année 2023 (%) .....	22
Figure 8 : Densité de poissons par port sur l'année 2023 .....	23
Figure 9 : Densité moyenne d'adultes par port en 2023 .....	24
Figure 10 : Densité de poissons par type de site sur l'année 2023 .....	24
Figure 11 : Part des principales espèces de YOY rapporté aux YOY totaux sur les années 2021, 2022 et 2023. ....	26
Figure 12 : Part des principales espèces de YOY rapporté aux YOY totaux par années .....	27
Figure 13 : Boxplot du nombre d'espèces non indigènes présentes en fonction de la configuration. Les groupes de lettres indiquent les différences significatives (Tuckey HSD). Adapté d'après Gauff et al. (2023). ....	27
Figure 14 : Photographies de certaines NIS présentes sur les modules ReFish, A. Branchioma luctuosum et B. Watersipora subatra. Crédit photo : Ifremer/O.Dugornay.....	28

## I. Introduction

Les effets conjoints du changement climatique et de l'urbanisation sont la cause d'une dégradation importante des écosystèmes marins côtiers (Gibson et al., 2007; Morris et al., 2017). Aujourd'hui, moins de 15 % du littoral Européen est considéré comme étant en « bon état » écologique malgré la diversification des mesures de gestion mises en place pour le protéger (Gibson et al., 2007). Afin de concevoir un avenir écologique plus durable, il est impératif de mieux appréhender, gérer et conserver les écosystèmes marins (Airoldi et al., 2021). Cette démarche est basée sur trois axes principaux : (i) la réduction des pressions urbaines, (ii) la protection et la restauration des écosystèmes océaniques, et (iii) la protection des services écosystémiques essentiels (Airoldi et al., 2021). Concernant les écosystèmes irrémédiablement altérés par les activités humaines, leur restauration, soit le recouvrement de l'ensemble de leur fonctions écologiques initiales, n'est pas toujours réalisable. Il est cependant possible de rétablir certaines des fonctions perdues de l'écosystème. On parle alors de réhabilitation (Bouchouca, 2017).

Parmi les écosystèmes côtiers fortement dégradés, les zones portuaires représentent un enjeu important. Si l'on prend l'exemple de la région, PACA (Provence Alpe Côte d'Azur), 17 % de son trait de côte est artificialisé et plus de 50 % des aménagements sont des ports ([www.medam.fr](http://www.medam.fr)). La multiplication des ports a entraîné une réduction des surfaces de certains écosystèmes, dont dépendent de nombreuses espèces de poissons côtiers durant le stade juvénile, ce qui altère la capacité de renouvellement de leur population adulte (Bouchouca, 2017). Au cours du cycle de vie des poissons nourricerie-dépendants, les larves mènent une vie pélagique et dispersive avant de regagner la côte et de s'installer dans des écosystèmes peu profonds et abrités. Ces zones refuges sont appelées nourriceries (Beck et al., 2001; Dahlgren et al., 2006). Les post-larves restent dans les nourriceries jusqu'à atteindre une taille qui les prévient d'une prédation trop importante, puis rejoignent les habitats de vie adulte (Pastor, 2008; Vigliola, 1998). Lors de l'installation benthique, une fraction des post-larves de poissons trouve refuge dans des ports. Le manque de complexité structurale des infrastructures portuaires, la contamination de l'eau et les nuisances sonores et lumineuses entraînent une surmortalité des post-larves (Bouchouca, 2017). Le nombre d'individus en capacité de rejoindre les populations adultes en est diminué entraînant une baisse des effectifs des populations de poissons nourricerie dépendants (hypothèse du recrutement limitant)(Doherty, 1991).

Depuis 2011, plusieurs projets d'ingénierie écologique ont émergé en méditerranée française pour tenter d'atténuer les effets négatifs des ports sur le renouvellement des populations de poissons nourriceries dépendants (GIREL, NAPPEX). Les solutions se basent principalement sur l'installation de modules artificiels visant à apporter plus de complexité structurale aux infrastructures portuaires. Cet apport d'abris pour les poissons, notamment pour les stades juvéniles, a pour objectif de réhabiliter la fonction de nourricerie des ports (Bouchouca, 2017). Des études menées sur ces solutions ont montrés que l'installation de nourriceries artificielles permet d'accueillir plus de poissons juvéniles (Mercader, 2018) et que les zones portuaires peuvent remplir dans certains cas et pour certaines espèces des critères de nourriceries (Bouchouca, 2017).

La chambre de commerce et d'industrie du var (CCIV) est gestionnaire de plusieurs ports de loisir et de commerce de la rade de Toulon. Soucieuse du bon état écologique de ses concessions et dans un processus de labellisation « ports propres et actifs en biodiversité » délivré par l'AFNOR, la CCIV s'est engagée dans des mesures de restauration écologique. Suite à un appel d'offre

remporté par Suez consulting en 2020, des modules ReFISH ont été installées dans plusieurs ports gérés par la CCIV. Afin d'évaluer l'efficacité de ces installations et dans le cadre d'un contrat avec l'Ifremer, les suivis écologiques des ports équipés de nourriceries artificielles sont assurés par les scientifiques du Laboratoire Environnement Ressources Provence Azur Corse (LER/PAC) du centre Ifremer de la Seyne-sur-Mer. Ces suivis donnent lieu à un rapport annuel. L'Ifremer participe également, aux côtés de la CCIV, à la sensibilisation des jeunes publics aux enjeux de la restauration écologique à l'occasion des journées « Rades bleues ».

Lors des précédentes études « ReFISH », la présence d'espèces non indigènes (ENI) a été observée. Les zones portuaires sont connues pour héberger une diversité et des densités d'ENI importante (Ferrario et al., 2020; Tempesti et al., 2020) dont l'apport est lié au transport maritime international et au reversement des eaux de ballast des bateaux à quais. L'installation de nouvelles structures immergées peut donc constituer un nouvel habitat préférentiel pour les ENI. Ces espèces ne présentent pas systématiquement de danger pour la biodiversité locale, notamment tant qu'elles restent cantonnées dans les ports. L'installation de nouveaux habitats sur lesquels elles peuvent se développer pourrait cependant favoriser leur transfert dans le milieu naturel où elles sont susceptibles de rentrer en concurrence avec les espèces locales voire devenir invasives. Ainsi afin d'évaluer la présence de ces espèces, une étude de la faune fixée a été menée en complément des suivis poissons.

Ce rapport dresse le bilan de la quatrième année de suivis réalisés par l'Ifremer au sein des ports de La Seyne sur Mer et Toulon Darse Nord ; de la troisième année de suivis pour le port de Toulon Vielle Darse et de la seconde année concernant le port de Saint Louis du Mourillon, récemment équipé (2022). Il constitue le rapport final de cette étude.

## II. Matériel et Méthodes

### II. 1. Localisation

Quatre ports gérés par la CCI du Var sont aujourd'hui concernés par une opération de réhabilitation écologique. Les ports de Toulon Darse Nord (TDN), de la Seyne sur Mer (SSM) et de Toulon Vielle Darse (TVD) sont localisés au sein de la petite rade de Toulon. Le port de Saint Louis du Mourillon (SLM) est situé dans la grande rade de Toulon (Figure 1). Ces quatre ports sont équipés respectivement de 26, 33, 66 et 60 modules artificiels de type ReFISH. Trois sites pour SSM, TDN et SLM, 5 sites pour TVD éloignés mutuellement d'au moins 50 m ont été établis dans les ports. La sélection des sites s'est faite en accord avec les indications de la CCI du Var sur les contraintes portuaires. Les différents sites ont été choisis afin de diversifier les schémas d'installation. Certains modules sont fixés contre des quais, d'autres suspendus sous des pontons et leur profondeur varie entre 0 et 3m (Figure 2).

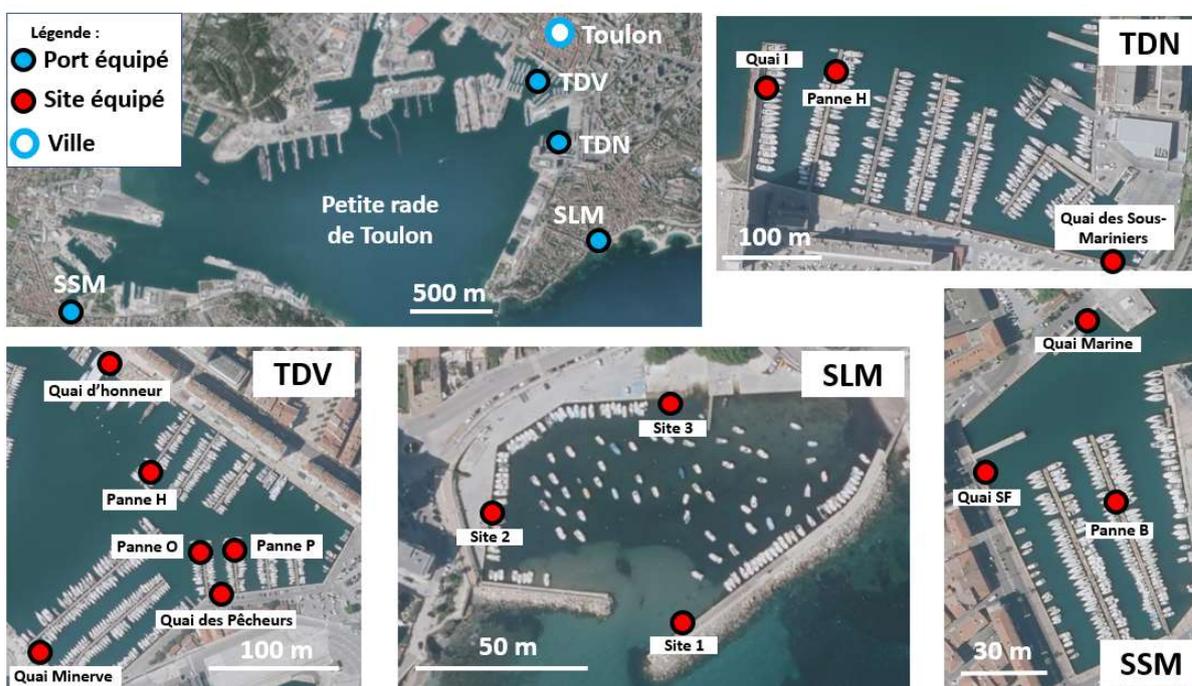


Figure 1 : Localisation des ports et des sites équipés de modules ReFish au sein des ports (TDN : Toulon Darse Nord, TVD : Toulon Vielle Darse, SLM : Saint Louis du Mourillon, SSM : la Seyne Sur Mer) sources : géoportail.fr

### II. 2. Description des modules et répartition dans les ports

Les structures artificielles choisies par la CCI du Var suite à une procédure de marché public sont des modules ReFish conçus par Suez consulting et commercialisés par Marinov. Chaque module est constitué d'une surface de 1m<sup>2</sup> (1m x 1m) dotée de fibres de biopolymère de 30 cm de longueur (Figure 2). L'ensemble est relié à un cadre en métal qui permet la fixation aux quais (Astruch et al., 2017).

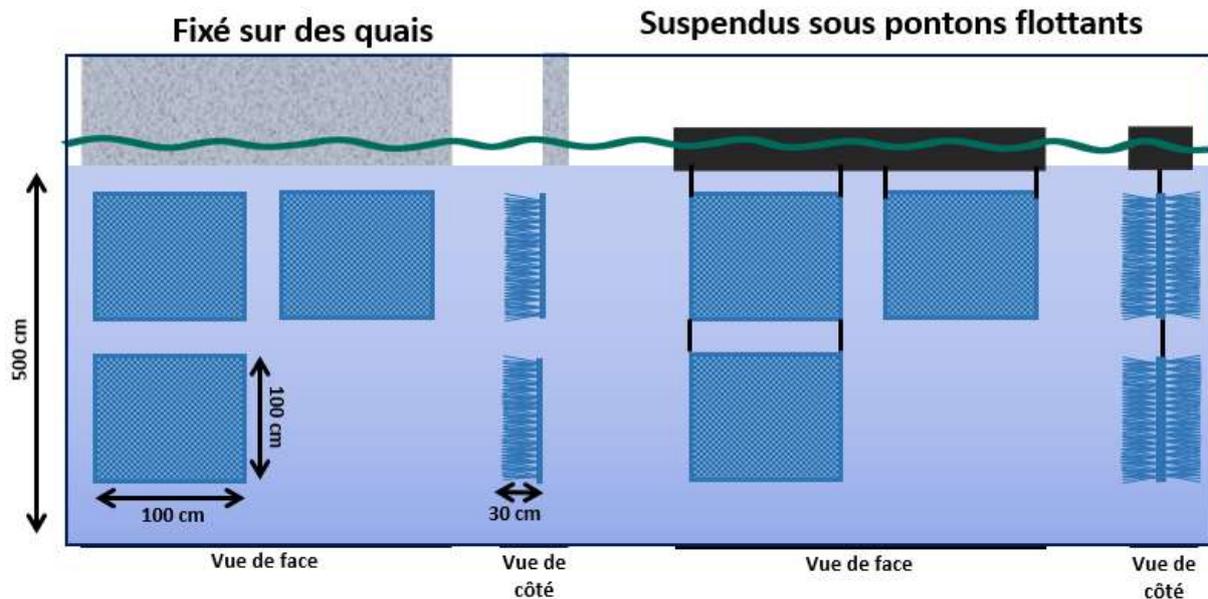


Figure 2 : Modules ReFISH (fixés sur un quai, rangée double ou simple, suspendus à un ponton flottant, rangée double ou simple).

Le nombre de dispositifs ReFISH déployé par port est en accord avec le volume maximal de modules fixé par le cahier des clauses techniques du 17 juin 2019 établi par la CCI du Var. Ainsi, le port de TDN accueille un volume de 9,9m<sup>3</sup> de dispositifs ce qui représente 33 modules, celui de SSN accueille 7,8 m<sup>3</sup> de dispositifs soit 26 modules, celui de TVD accueille un volume de 19,8 m<sup>3</sup> ce qui représente 66 modules et celui de SLM accueille 9 m<sup>3</sup> de dispositifs soit 60 demi-modules. En ce qui concerne les sites du port de Toulon Darse Nord, le Quai I a été équipé avec 10 dispositifs ReFISH dont un linéaire de cinq modules fixés sur le quai en rangée haute et un second linéaire de cinq modules fixés en rangée basse. La Panne H est équipée, depuis l'année 2021 en remplacement de la panne F en 2020, de 18 dispositifs dont quatre modules doubles sur deux hauteurs (16 dispositifs) et un module double (2 dispositifs) installés sous le ponton flottant. Le Quai des sous marinières quant à lui accueille 5 dispositifs fixés au quai et alignés sur une rangée simple (Figure 1). Dans le port de la Seyne-sur-Mer, le Quai marine est équipé de 6 dispositifs ReFISH dont un linéaire de quatre modules fixés sur le quai en rangée simple et un module double fixé sous le ponton flottant. Le Quai Saturnin Fabre (ci-après dénommé Quai SF) présente deux linéaires de chacun 5 modules le premier en rangée haute est le second en rangée basse. La panne B est, elle aussi, équipée par 10 modules dont deux modules doubles sur deux hauteurs et un module double sur une hauteur. L'ensemble a été installé sous le ponton flottant (Figure 1). Dans le port de Toulon Vielle Darse, le Quai de la Minerve et les Quai des pêcheurs sont équipés de 5 modules avec un linéaire de 5 modules fixés sur le quai. Le Quai d'honneur est doté de 4 modules disposés en rangés simples. La Panne P et la Panne O sont équipées de 14 modules disposés dos à dos en rangée double. La Panne H est équipée de 24 modules, disposés sur 6 rangées doubles (Figure 1). Dans le port de Saint Louis du Mourillon, ce sont des demi-modules (1 m x 0,5 m) qui ont été installés. Trois sites sont équipés respectivement de 20, 15 et 25 demi-modules.

### II. 3. Protocole de suivi écologique

Les modules ReFISH ont été installés entre le 1er et le 2 juin 2020 dans le port de Toulon Darse Nord, entre le 2 et le 3 juin 2020 à la Seyne-sur-Mer, entre le 10 et le 12 mai 2021 à Toulon Vielle Darse et entre le 18 et 19 mai 2022 à Saint Louis du Mourillon. Le suivi écologique des modules en 2020 a été perturbé par la crise sanitaire et n'a donc pu commencer qu'à partir du 7 juillet 2020.

En 2020, compte tenu du retard à la mise en place des suivis, chaque site a été visité en moyenne toutes les 3 semaines entre juillet et octobre. Un rythme mensuel, entre avril et septembre, a été rétabli en 2021 et a été poursuivi jusqu'en 2023. Les observations des dispositifs se font en plongée. Lors de chaque visite les plongeurs ont effectué un comptage suivi d'un relevé des caractéristiques en termes d'espèces, de tailles et de nombre de l'ensemble des individus qu'ils ont identifiés sur les modules ReFISH de chaque site. Les comptages ont été réalisés par transects en nage lente. Nous avons effectué une distinction entre les juvéniles de l'année ou Young of the Year (YOY), et les individus plus âgés. Cette différence est basée sur la taille des individus à partir des données de (FélixHackradt et al., 2013). En l'absence de données concernant les juvéniles d'une espèce, la taille des YOY a été considérée comme étant de 1/3 de la taille moyenne d'observation des adultes. Cette dernière information a été recueillie sur FishBase ([www.fishbase.fr](http://www.fishbase.fr)). Les analyses statistiques ainsi que les graphiques ont été réalisés avec le logiciel R (RStudio Team 2021). Les tests statistiques sont des PERMANOVA, considérés comme significatifs pour  $p < 0.05$ .

Le suivi du Quai d'Honneur n'a pas pu être réalisé, le passage régulier des navettes maritimes représentant un danger pour les plongeurs.

#### II. 4. Etude de la faune fixée

Depuis l'installation des ReFISH, un rapide développement de la faune fixée a été observé sur les modules. Dans un premier temps, ce biofouling avait soulevé une problématique d'augmentation du poids des structures (notamment pour les ReFISH suspendus sous des pontons flottants) ainsi qu'une plus grande difficulté à dénombrer les poissons.

Cette observation du développement de la faune fixée sur les ReFISH couplée au constat concernant les ENI dans les zones portuaires a donné naissance à une étude portant sur la taxonomie des espèces fixées présentes sur les modules ReFISH durant l'année 2022.

L'étude des communautés benthiques a été réalisée sur le Quai I et la Panne H (Figure 1) du port de Toulon Darse Nord 22 mois après l'installation des ReFISH. Les communautés benthiques de quatre configurations ont été étudiées et comparées : celles présentes sur les ReFISH installés contre des quais, celles présentes sur les quais non équipés de ReFISH, celles présentes sur les ReFISH suspendus sous des pontons flottants et celles présentes sous des pontons flottants non équipés de ReFISH. Sur chaque configuration, un quadrat de 20x20cm a été positionné. Toutes les espèces présentes dans ces quadrats ont été récoltées dans un filet et maintenues en vie pour être ensuite identifiées en laboratoire (Figure 3). Ce travail a donné lieu à une publication, voir Gauff et al., (2023).

Le nombre de NIS présentes sur les différentes configurations a ainsi été relevé.

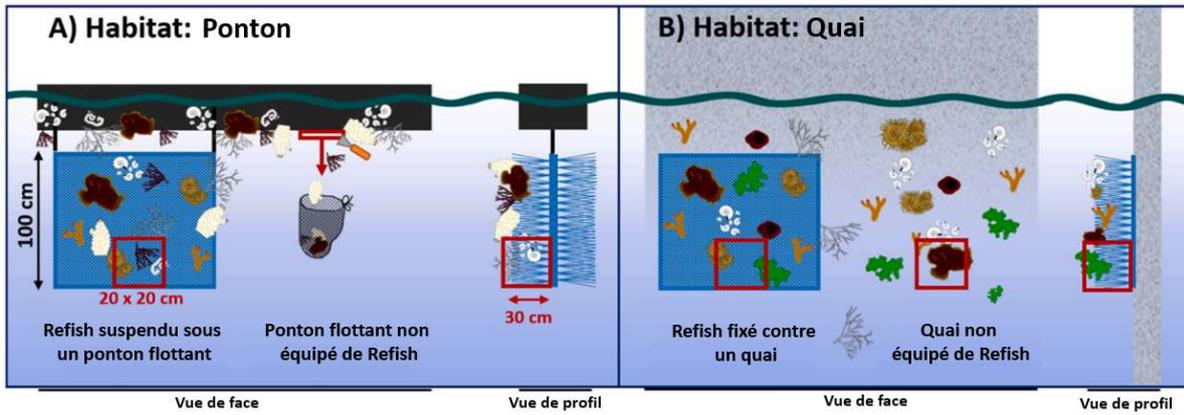


Figure 3 : Illustration du protocole d'échantillonnage de la faune fixée A) sur la configuration Ponton et B) sur la configuration Quai adaptée de (Gauff et al. 2023).

### III. Résultats

Les quatre années de suivis effectuées sur les modules ReFish ont permis de dénombrer 8 309 poissons dont 55 % de juvéniles répartis en 46 espèces (cf. Tableau I).

Les ports de La Seyne sur Mer (SSM) et de Toulon Darse Nord (TDN) ont été suivis depuis le début de l'étude, soit sur une période de 4 ans. À la SSM, un total de 1 151 individus, dont 455 YOY ont été recensés. Pour le port de TDN, 1 591 individus au total, dont 1 106 YOY ont été comptabilisés. Le port de Toulon Vieille Darse (TVD) a été étudié pendant 3 ans, de 2021 à 2023. Sur cette période 2 782 individus, dont 699 YOY ont été recensés. Enfin, Saint Louis du Mourillon a été surveillé 2 ans de 2022 à 2023, 2 785 individus dont 2 288 YOY y ont été relevé (cf. Tableau I).

La diversité spécifique observée sur les ReFISH est représentative des espèces de poissons généralement recensées dans les ports du Nord-Ouest de la méditerranée et se distingue des communautés présentes en zones naturelles. Les résultats de cette année s'accordent avec ceux des années précédentes et sont cohérents avec la littérature à ce sujet (Clynick, 2006; Ruitton, 1999). En 2023, plusieurs nouvelles espèces ont été recensées sur les modules : la cicерelle de Méditerranée (*Gymnammodytes cicерelus*), le gobie quagga (*Pomatoschistus quagga*), la rascasse brune (*Scorpaena porcus*), la sériole couronnée (*Seriola dumerili*) ainsi que deux espèces dont le genre avait été identifié en 2022 : le bécune bouche jaune (*Sphyaena viridensis*) et le chinchard méditerranéen (*Trachurus mediterraneus*). Les individus appartenant à ces nouvelles espèces recensées représentent 6.8 % des 3 469 poissons dénombrés sur l'année.

En 2023, l'espèce majoritairement observée sur les modules ReFISH sont les saupes (*Sarpa salpa*), avec une installation de plus de 540 juvéniles dans le port de SLM. En deuxième et troisième position, les sparailleurs (*Diplodus annularis*) et les sars à tête noire (*Diplodus vulgaris*) ont été très présents lors des suivis écologiques portuaires (cf. Figure 3). Leur présence sur les modules avait déjà été importante les années précédentes. L'occurrence des 3 espèces les plus prépondérantes sur les modules représente 64 % des observations. Ce taux passe à 69 % en incluant la cicерelle de Méditerranée (*Gymnammodytes cicерelus*) dont 200 individus ont été recensés 1 unique fois sur l'année exclusivement à TDN. Ces espèces ont été observées essentiellement au stade juvénile sauf pour la saupe dont seulement 36 % de la population a été observée au stade YOY.

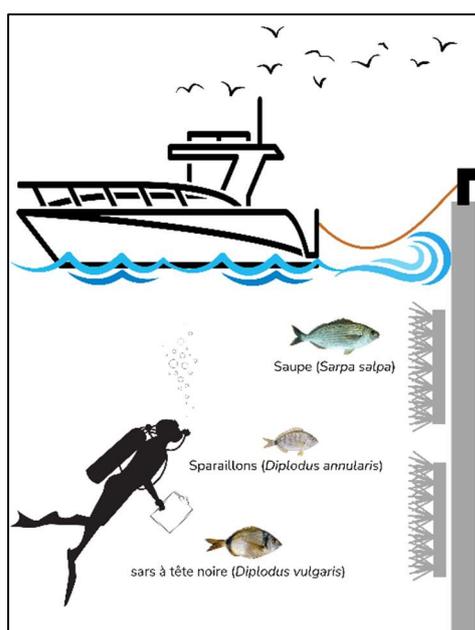


Figure 3 : Espèces de poissons majoritairement observées sur les modules ReFish en 2023

Parmi les espèces majoritaires identifiées au stade YOY en 2021 et 2022, tel que la saupe (*Sarpa salpa*), le joël (*Atherina sp.*), le pageot (*Pagellus sp.*) et le sparailon (*Diplodus annularis*), le joël et le pageot diminuent en effectifs lors des comptages de 2023 et laissent apparaître des populations de gobies (*Gobidae sp.*) et des sars à tête noire (*Diplodus vulgaris*) à hauteur respective de 8,45 % et 20,05 % des YOY de l'année.

Parmi les 21 espèces ciblées par la pêche professionnelle recensées en 2022, présentant donc un intérêt économique ([www.fao.org](http://www.fao.org)), la bécune à bouche jaune se rajoute en 2023. Les espèces majoritairement observées font parties de cette catégorie. Ces résultats viennent appuyer ceux déjà obtenus les années précédentes et restent cohérents avec la littérature sur le sujet (Bouchoucha, 2017).

#### Résumé :

- Pour une nouvelle année consécutive, les ReFISH accueillent une diversité typique des ports du Nord-Ouest de la Méditerranée avec des espèces d'intérêts économique ;
- La proportion de YOY reste importante (55 % sur quatre ans) ;
- 3 469 poissons ont été identifiés en 2023 ;
- Les espèces majoritairement observées cette année sont les saupes, les sparailons et les sars à tête noire : elles représentent 64 % des observations.

Tableau I : Occurrence des espèces de poissons recensées par années de 2020 à 2023 sur les ports de SSM, SLM, TDN et TDV

Années	Espèce	La Seyne sur Mer						TDN						Total généra
		Panne B		Quai marine		Quai SF		Panne F		Quai des sous-marini		Quai I		
		adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	
2020	<i>Atherina sp.</i>				11									11
	<i>Etelmiidae</i>												1	1
	<i>Dentex dentex</i>				1									1
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	2	1					3						6
	<i>Diplodus annularis</i>	16	4	3	2	5	16	8	57	4	27	3	23	168
	<i>Diplodus puntazzo</i>				1			1						2
	<i>Diplodus sargus</i>	6		1	1	1	3				1			13
	<i>Diplodus vulgaris</i>	1			1			1					1	4
	<i>Gobius cruentatus</i>					1								1
	<i>Gobius niger</i>					1								1
	<i>Labrus merula</i>							1				1		2
	<i>Lipocphrys trigloides</i>									1				1
	<i>Mullus surmuletus</i>							1						1
	<i>Pagellus sp.</i>				2									2
	<i>Parablennius gattorugine</i>					1								1
	<i>Parablennius sanguinolentus</i>			1							3			4
	<i>Salaria pavo</i>		1	2							1			4
	<i>Salpa salpa</i>	1												1
	<i>Serranus scriba</i>					1								1
	<i>Symphodus cinereus</i>					4						6		10
<i>Symphodus roissali</i>					2						2		4	
<i>Symphodus rostratus</i>											1		1	
<i>Symphodus sp.</i>										1			1	
<i>Symphodus tinca</i>	1		2		3		3		1		5		15	
<i>Tripterygion tripteronotum</i>										1			1	



Années	Espèces	La Seyne sur Mer						SLM						TDN						TVD						Total général					
		Panne B		Quai marine		Quai SF		site 1		site 2		site 3		Panne F		Quai des sous-marinières		Quai I		Panne H		Panne O		Panne P			quai Aviron		quai Minerve		
		adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY		adulte	YOY	adulte	YOY	
2022	<i>Atherina</i> sp.			126				250		265		450											50		40		1	1182			
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	2		2		2				13		18		10				1				1		5		1		55			
	<i>Diplodus annularis</i>	48		15	2	5	1				1	1	9	14		6	5	4	5	112	2	26	3	15	2	28	37	5	38	384	
	<i>Diplodus puntazzo</i>	1			10	1			2		8		3		4		1		5	2	7			6		1		3	54		
	<i>Diplodus sargus</i>	27		9		4		2	7	1	5	5	6	14				1	1	14			10		30			1	137		
	<i>Diplodus vulgaris</i>				2			2		2	1	3							1					4			3		6	24	
	<i>Gobius cruentatus</i>			2		1		1		2		1				1												1		5	
	<i>Gobius peniporus</i>			2								1						1										1		5	
	<i>Gobius niger</i>			3							2		4																	9	
	<i>Gobius paganelus</i>	1										2																		3	
	<i>Gobius xanthocephalus</i>								3			1														1				5	
	<i>Lipophrys trigloides</i>											1																		1	
	<i>Liza aurata</i>												2					3												5	
	<i>Liza ramada</i>			3																								1		4	
	<i>Mugilidae</i> sp.					10			1	30									3											44	
	<i>Mullus surmuletus</i>					1	1	20		8		7				5	3										3		3	51	
	<i>Oblada melanura</i>							9		1														2						12	
	<i>Pagellus</i> sp.								10												40		1		60				10	121	
	<i>Parablennius sanguinolentus</i>											3						1												4	
	<i>Salaria pavo</i>	4																					1		2					7	
	<i>Sarpa salpa</i>			35		10	10	105		6		46				40	11	4	112				5		62		21		5	25	497
	<i>Serranus scriba</i>							1																							1
	<i>Sphyræna</i> sp.							14																							14
	<i>Symphodus cinereus</i>					1											2		2								1		1	7	
	<i>Symphodus ocellatus</i>							5				2		2		16	1	12								4		2		44	
	<i>Symphodus roissali</i>					1						1																		3	
	<i>Symphodus tinca</i>	2		5		4			1			1		1	3				1		2			1		4		4		30	
	<i>Syngnathus typhle</i>							2																							2
	<i>Trachurus</i> sp.							1					1																		2
	<i>Tripterygion tripteronotum</i>																											1			1

Années	Espèce	La Seyne sur Mer						SLM			TUN				TUD						Total générale											
		Panne B		Quai marine		Quai SF		site 1	site 2	site 3	Panne F	Quai des sous-marins			Quai I	Panne H		Panne O		Panne P		quai Avron	quai Minerve									
		adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte	YOY	adulte		YOY	adulte	YOY	adulte	YOY						
2023	<i>Atherina sp.</i>			60	16					100		1	10								6					193						
	<i>Chromis chromis</i>																							1		1						
	<i>Coris julis</i>															1										1						
	<i>Dentex dentex</i>											1														1						
	<i>Dicentrarchus labrax</i>																69			1		13		6		9	99					
	<i>Diplodus annularis</i>	29		18		55	1	3		3	1	1	4	7	1	7	8	4	13	62	12	20	4	22	17	28	16	14	22	372		
	<i>Diplodus nuntazzo</i>	2	1						5	1	13			11	9				1		2		5							50		
	<i>Diplodus sargus</i>	2		2		2			2	5		14	8	7	7				10	1	26		8		18		1	5	8	5	131	
	<i>Diplodus vulgaris</i>				1			1	2	83		2	84	3	68	1			31		6	27			5		6	1	12	3	13	349
	<i>Gobiidae sp.</i>											45																				135
	<i>Gobius</i>			1		4					26		5																			38
	<i>Gobius pinnatus</i>											2																				10
	<i>Gobius geniporus</i>			1		1					2		2									1		3								14
	<i>Gobius niger</i>	1		2		2					2		5									2										46
	<i>Gobius paganelus</i>	3		1		6					2		5									3										7
	<i>Gobius xanthocephalus</i>				2		2																									200
	<i>Gymnammodon oyles</i>																															35
	<i>Mugilidae sp.</i>	2								30																						17
	<i>Mullus surmuletus</i>								2	1	10			4																		30
	<i>Obletus melanura</i>									18		3		8								1										4
	<i>Pagellus acarne</i>									4																						2
	<i>Pagellus sp.</i>											2																				9
	<i>Parablennius gattorugine</i>										2																					30
	<i>Pomatoschistus quagga</i>													9																		2
	<i>Salapia pavo</i>	11		3																												3
	<i>Sarpa salpa</i>	6								22	339	65	142	24	50							38		27	12	293	105	268	89	6	1486	
	<i>Scorpaenopsis</i>									1		1																				2
	<i>Sentotia dumentii</i>																															1
	<i>Serranus scriba</i>									3																						5
	<i>Sperus aurata</i>																															1
	<i>Sphyræna viridensis</i>																															1
	<i>Symphodus cinereus</i>			1		3			1		1		2																			20
	<i>Symphodus ocellatus</i>									21		3		11																		39
	<i>Symphodus roissali</i>									3	3	2																				10
	<i>Symphodus rostratus</i>									6																						6
	<i>Symphodus tinca</i>	1		5		9			3		3		9																			94
	<i>Syngnathus typhle</i>									4																						4
	<i>Trachurus mediterraneus</i>	3																														23

### III. 1. Comparaison de la densité au sein des différents ports

En 2023, les densités de poissons observés sont significativement différentes entre les ports (PERMANOVA,  $p < 0,05$ ) (cf. Figure 4). Cette différence n'est plus significative si l'on exclut les données de SLM qui se distingue par une densité d'individus plus importante que ses congénères. Ces observations sont en adéquations avec celles effectuées en 2022 (cf. Figure 5).

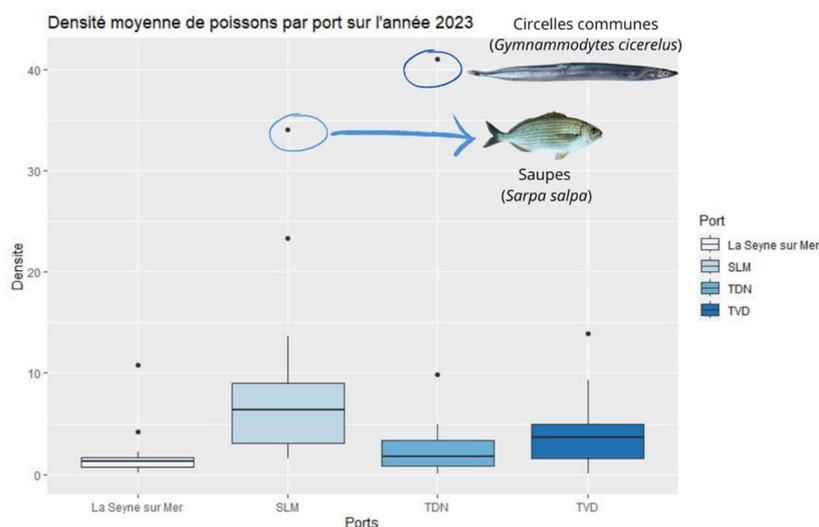


Figure 4 : Densité de poissons par port sur l'année 2023

La cicerelle de Méditerranée a été observée une unique fois en très grand nombre sur le port de TDN fournissant donc des valeurs de densité plus importantes. Cette valeur unique, n'est pas représentative de l'attachement de l'espèce à l'habitat.

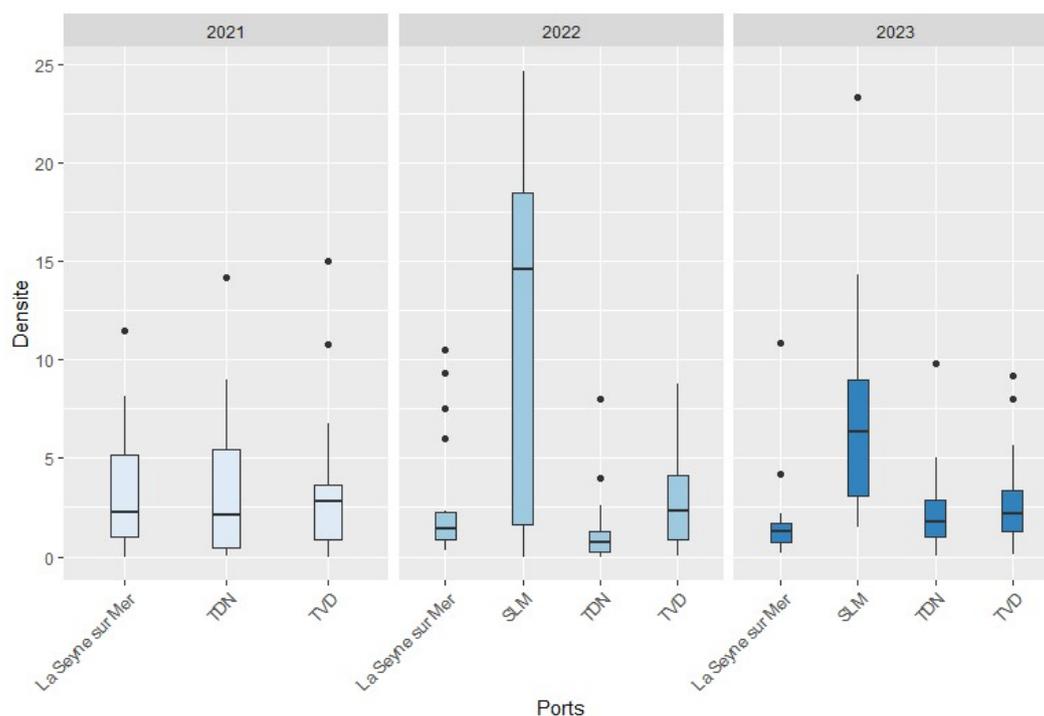


Figure 5 : Densité de poissons par port et par année

La figure 5 montre l'évolution de la densité moyenne par port et par années depuis 2021. Les comptages de l'année 2020 ont été réalisés tardivement (entre juillet et octobre) or l'installation benthique de nombreuses espèces méditerranéennes se déroule à partir de la fin de l'hiver jusqu'à la fin du printemps (Lozano et al., 2015). Les données ainsi recueillies ne sont pas représentatives de l'installation sur l'année et sont donc écartées pour permettre un meilleur traitement. Après analyse statistique (PERMANOVA), la variabilité interannuelle ne semble pas affecter significativement les données ( $p=0.284$ ).

#### Résumé :

- SLM se distingue avec une densité de poissons par module plus importante que les autres ports ;
- Les différents ports (hors SLM) ont une densité moyenne non significativement différente entre eux.

### III. 2. Richesse spécifique par port et année

La richesse spécifique au sein des différents sites et ports ne présente pas de différences significatives excepté concernant le port de SLM (cf. Figure 6). Nous pouvons supposer que ce port, situé en dehors de la rade et moins soumis à la contamination liée à l'activité portuaire, présente une mortalité moindre pour les juvéniles. Ces conditions favorables couplées à la présence d'habitats naturels à proximité permettent certainement l'installation d'un plus grand nombre d'individus et d'espèces.

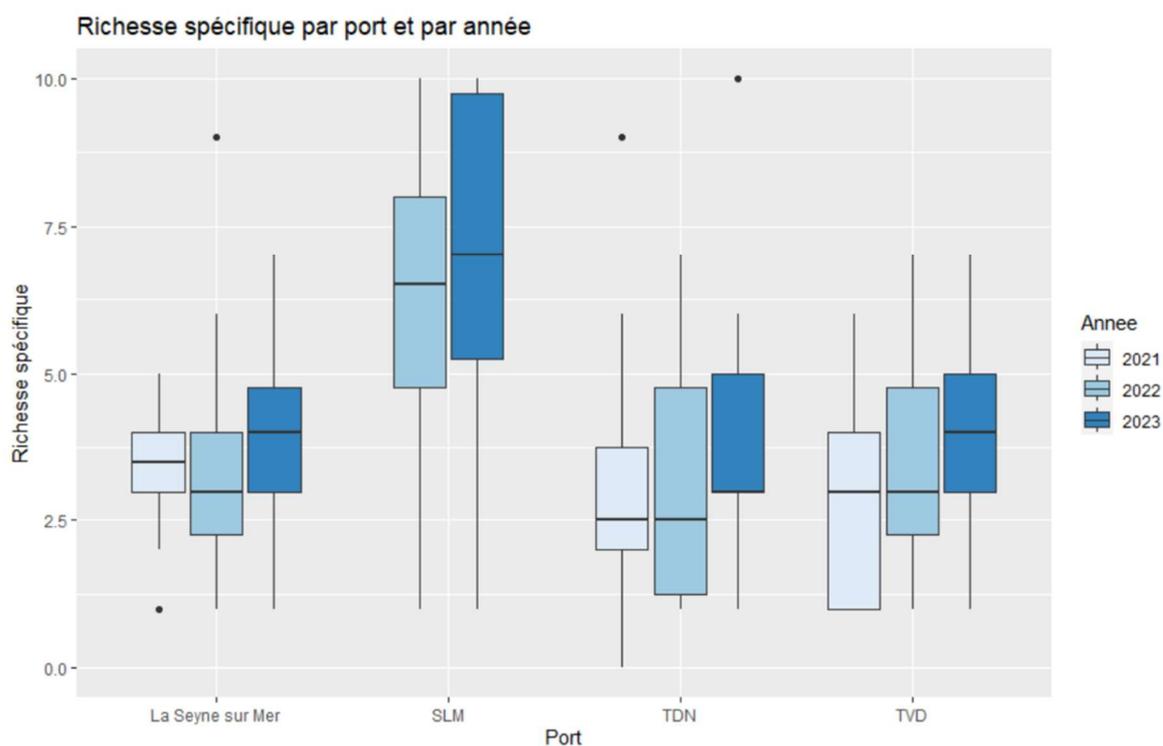


Figure 6 : Richesse spécifique par port et par année

#### Résumé :

- 35 espèces ont été recensées en 2023, soit 6 de plus qu'en 2022 ;
- Au même titre que la densité, la richesse spécifique n'est pas significativement différente entre les ports sauf pour SLM.

### III. 3. Comparaison de la répartition adultes/YOY au sein des différents sites

En 2023, bien qu'en moyenne 46 % des individus identifiés sur les modules étaient des YOY, ce taux est de 80 % pour SLM, et ce probablement pour les mêmes raisons que celles évoquées en paragraphe 1.2 (cf. Figure 7).

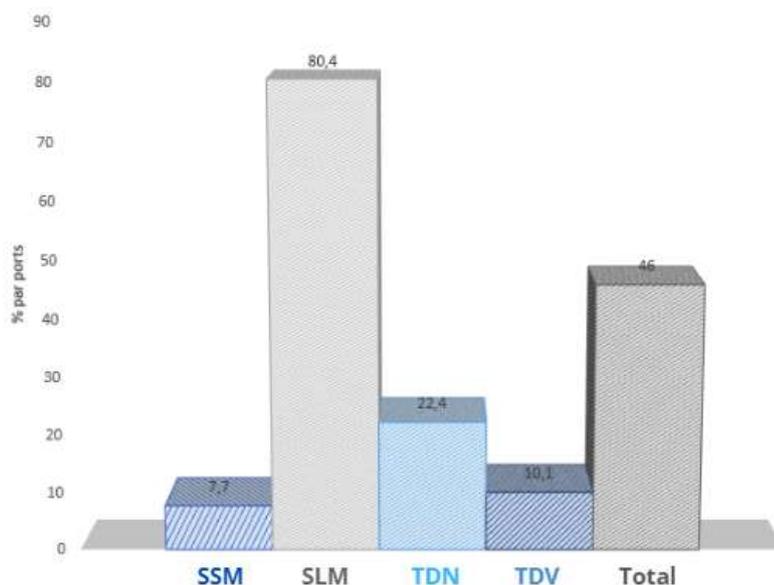


Figure 7 : Proportion de juvéniles par port sur l'année 2023 (%)

La proportion d'adultes est plus importante cette année passant de 38 % en 2022 à 54 % en 2023 (cf. Figure 9). Outre le rôle de nurseries, les modules pourraient donc avoir un rôle de dispositifs concentrateurs de poissons (DCP) en attirant les individus adultes. Cette année de nouveau, la majorité des YOY (96.6 %) a été observée sur les modules fixés aux quais. Cette observation confirme la tendance des années précédentes : en 2023 et toutes les années confondues la densité (soit le nombre d'individus par modules) des YOY sur les modules attachés aux quais est significativement plus importante que celle des ReFISH suspendus sous les pontons (PERMANOVA,  $p=0.001$ ) (cf. Figure 8). Cela suggère que dans ces conditions, les modules suspendus ont à nouveau été moins adaptés à l'accueil de juvéniles. Dans l'optique de réhabiliter la fonction

nurserie des zones portuaires, il serait alors plus intéressant de déployer davantage de modules sous quais que sous pontons (cf. Figure 10).

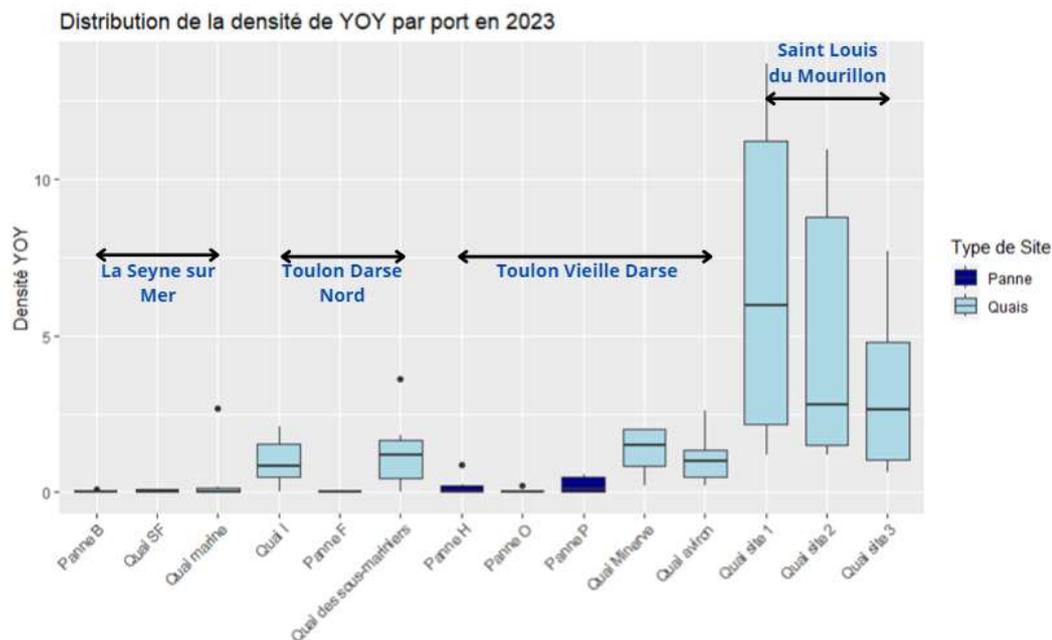


Figure 8 : Densité de poissons par port sur l'année 2023

Le port de SLM ne présentant que des modules fixés sur quais, est écarté du calcul de densité moyenne de YOY par typologie de site.

De plus, le quai aviron de TVD, en raison d'un comptage ponctuel d'un grand nombre d'individus grégaires, présente une densité de cicерelle de Méditerranée (*Gymnammodytes cicерelus*) importante comparé au reste de nos données. S'enfouissant dans les fonds sableux, bien que dénombrés sur les modules ils ne bénéficient pas de la fonction « nurserie » de ceux-ci (Louisy, 2005). Ils sont donc également écartés des analyses présentées en figure 9.

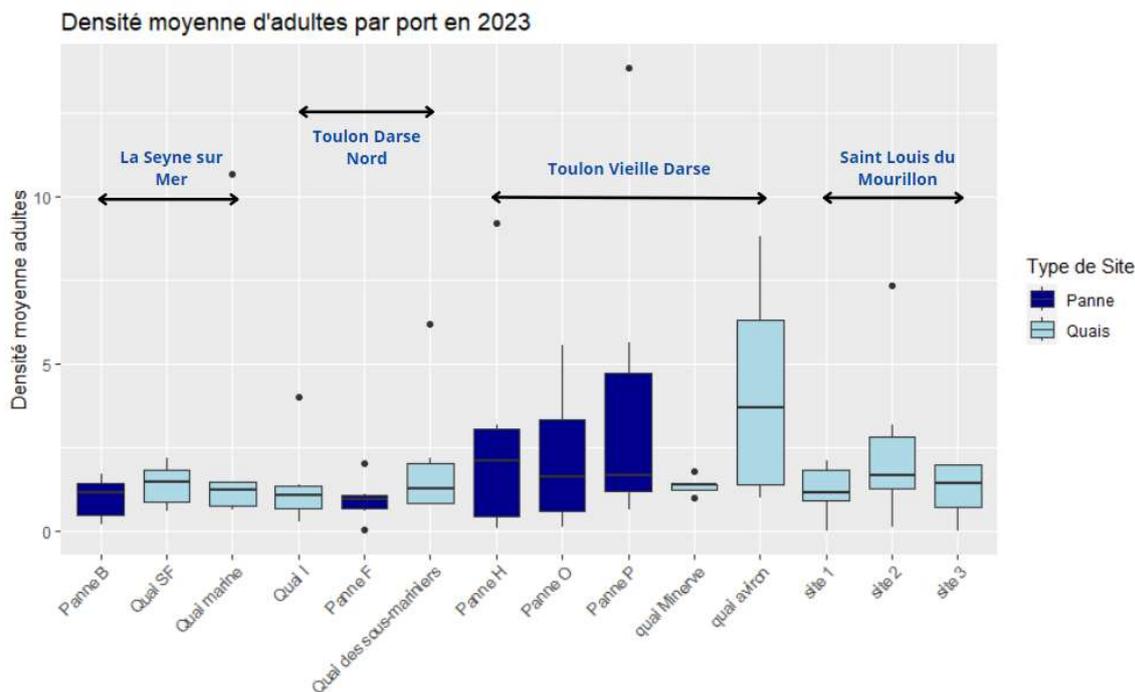


Figure 9 : Densité moyenne d'adultes par port en 2023

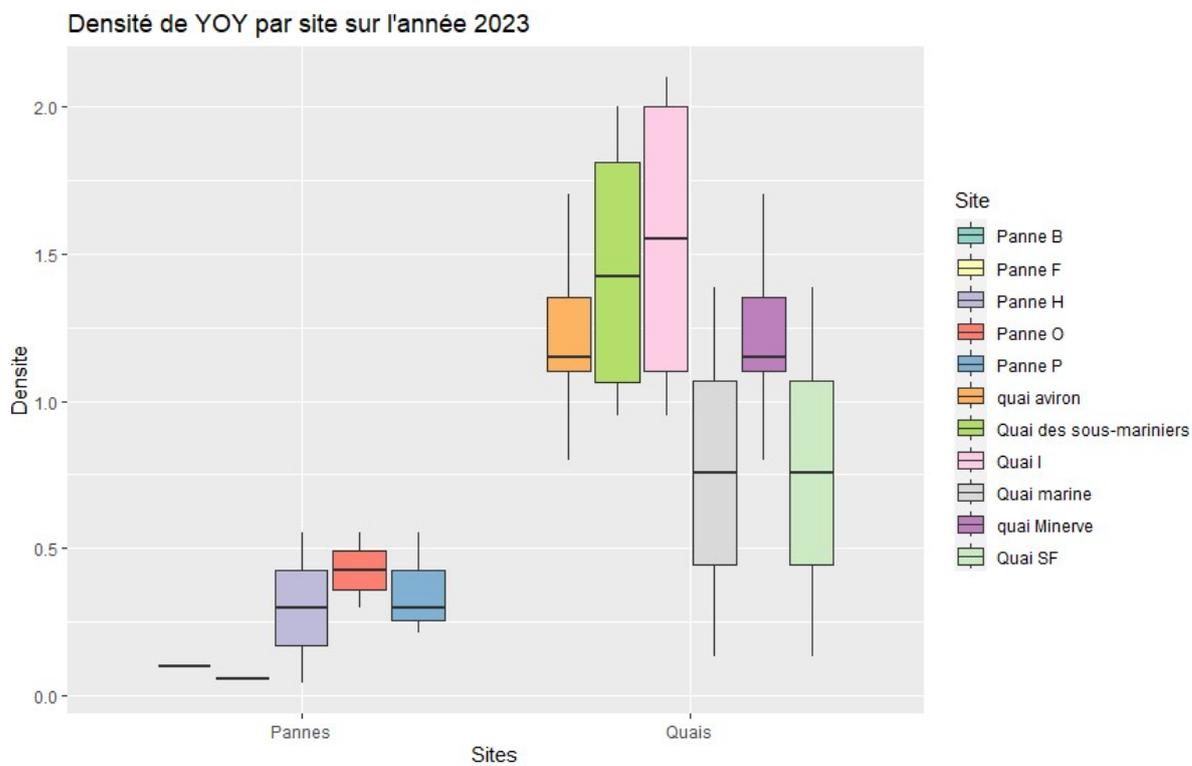


Figure 10 : Densité de poissons par type de site sur l'année 2023

Résumé :

- 46 % des poissons recensés sur l'année 2023 étaient des YOY ;
- Les quais accueillent de manière significative plus de juvéniles toutes années confondues que les pontons. Cette tendance est vérifiée en 2023.

### III. 4. Principaux YOY

En 2021 et 2023, l'espèce recensée majoritairement parmi les YOY était la saupe, à hauteur respectivement de 46.3 % et 34 % des YOY totaux. En 2022, il s'agissait du joël, représentant 68.8 % des YOY comptabilisés sur l'année (cf. Figure 11, Figure 12). Recensés lors de 6 plongées de mai à août, les joëls ont été observés majoritairement en groupe, allant parfois jusqu'à 200 individus. Les saupes, quant à elles, ont été observées 6 fois en 2021, de mai à juillet, et 5 fois en 2023, d'avril à juillet. Espèce grégaire, elles s'observent également majoritairement en groupes, allant jusqu'à 150 individus pour 2021 et 182 pour 2023. Ces caractéristiques expliquent qu'elles représentent une part importante des YOY observés.

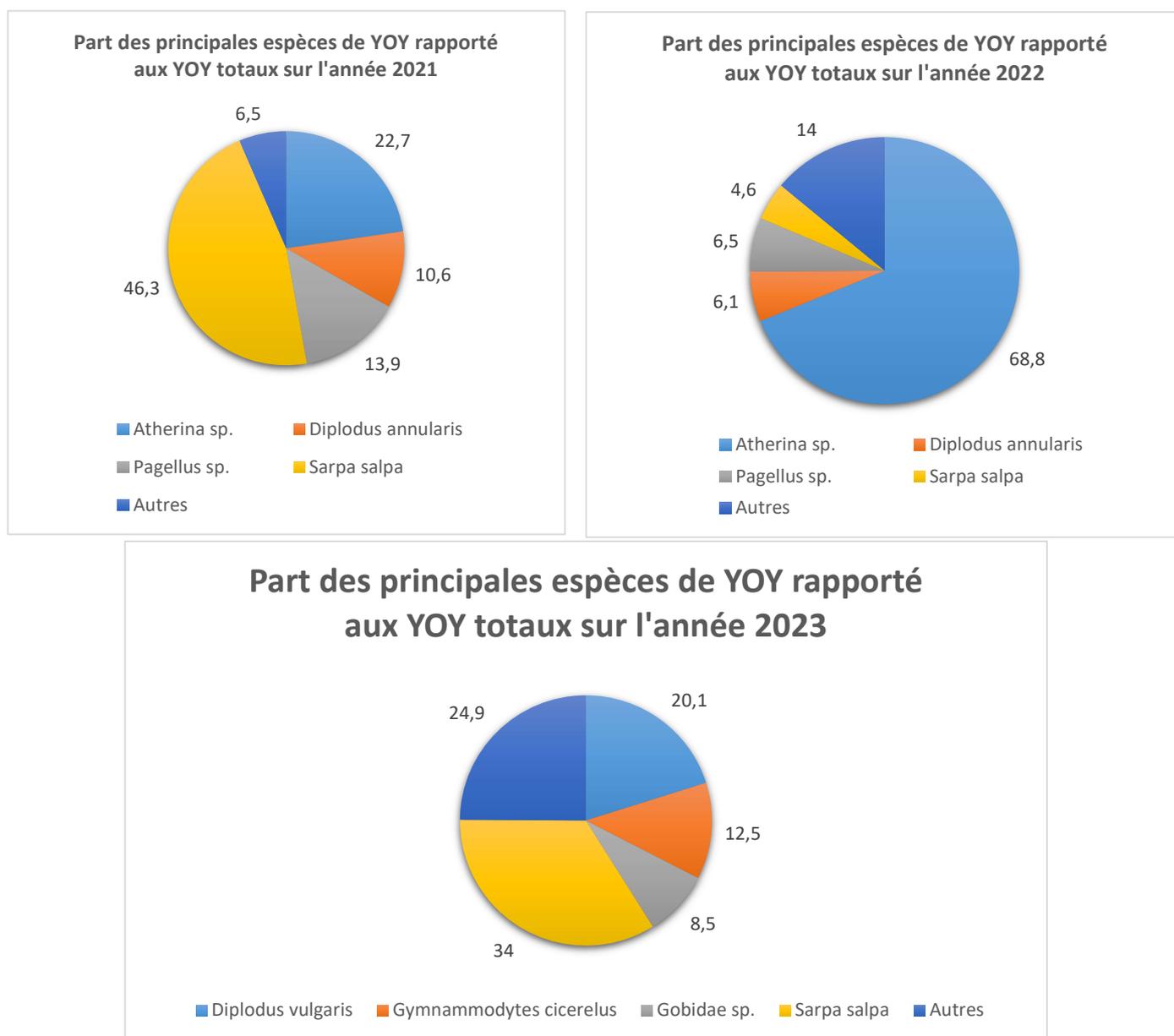


Figure 11 : Part des principales espèces de YOY rapporté aux YOY totaux sur les années 2021, 2022 et 2023.

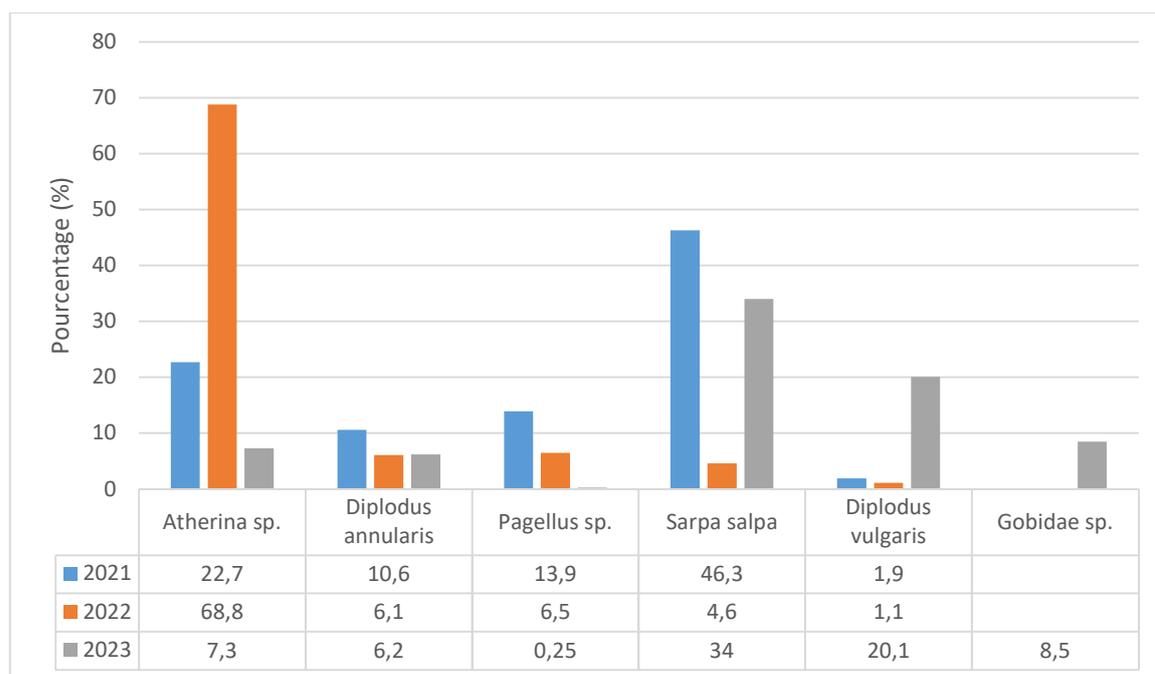


Figure 12 : Part des principales espèces de YOY rapporté aux YOY totaux par années

### III. 5. Résultats sur les communautés de la faune fixée

L'analyse des communautés de la faune fixée montre qu'il y a significativement plus d'ENI sur les ReFISH suspendus contre des quais sur les quais non équipés (Tuckey HSD,  $p < 0.05$ ). De la même manière, il y a significativement plus d'ENI sur les ReFISH suspendus sous un ponton flottant que sur un ponton flottant non équipé (Tuckey HSD,  $p < 0.05$ ) (Figure 13 et 14).

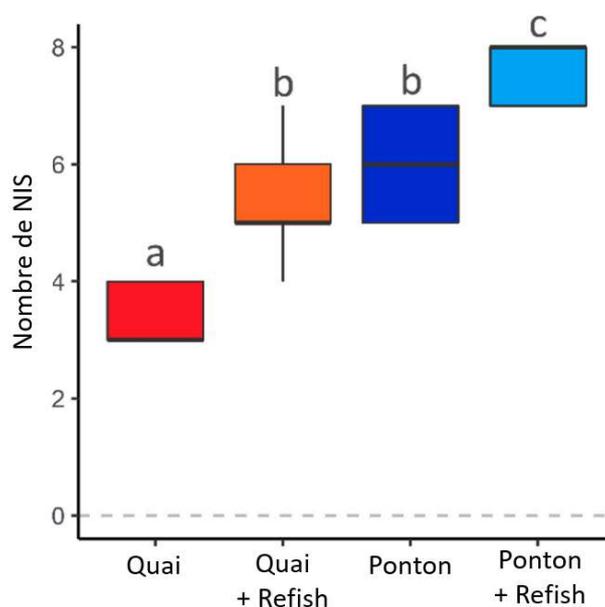


Figure 13 : Boxplot du nombre d'espèces non indigènes présentes en fonction de la configuration. Les groupes de lettres indiquent les différences significatives (Tuckey HSD). Adapté d'après Gauff et al. (2023).

Les ReFISH accueillent donc plus d'ENI que les infrastructures portuaires sur lesquelles ils sont installés. Les structures installées sous des pontons flottants sont celles qui accueillent le plus d'ENI (Tuckey HSD,  $p < 0.05$ ) (Gauff et al., 2023).

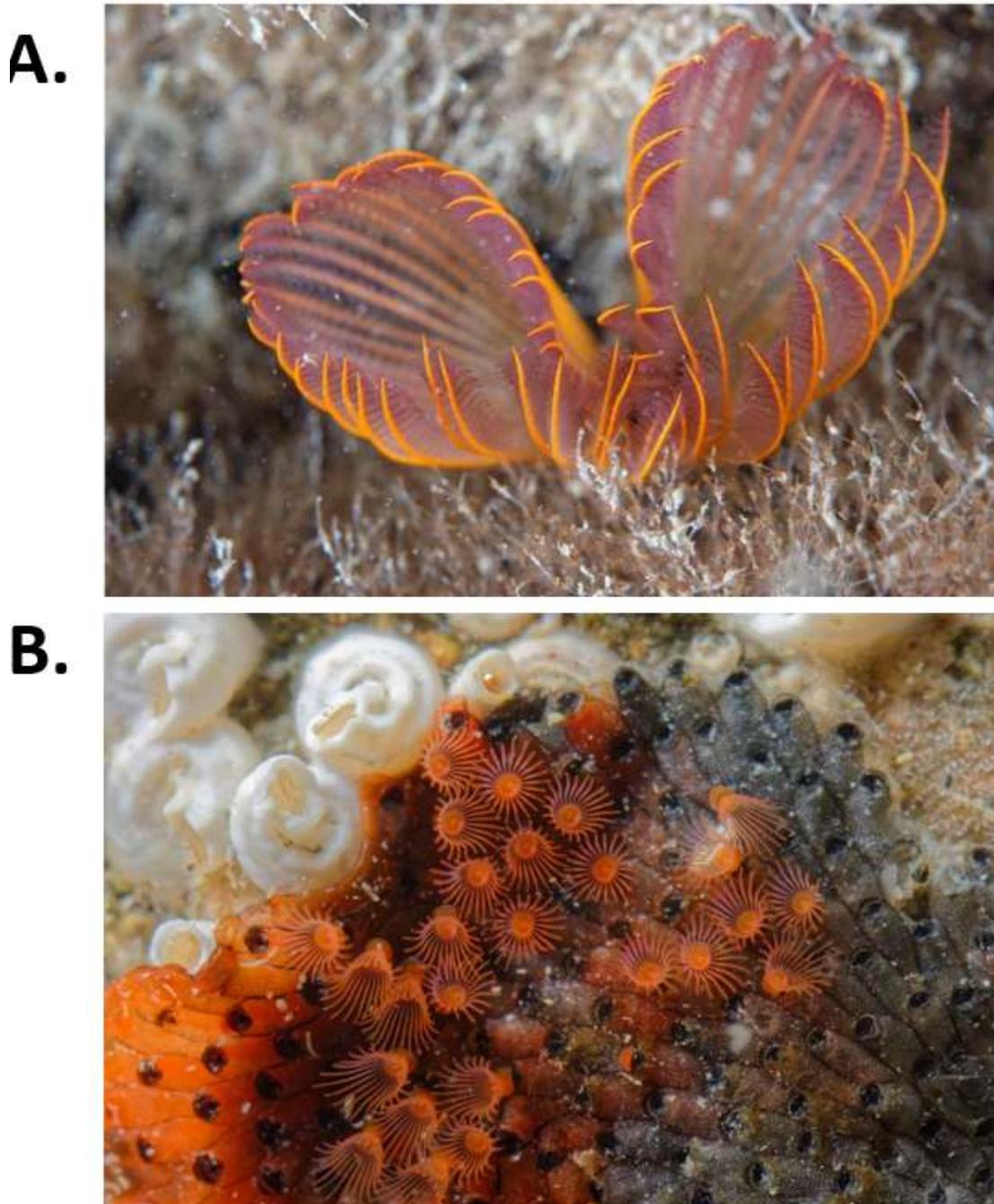


Figure 14 : Photographies de certaines NIS présentes sur les modules ReFish, A. *Branchioma luctuosum* et B. *Watersipora subatra*. Crédit photo : Ifremer/O.Dugornay

Ces résultats mettent donc en évidence un plus grand nombre d'ENI sur les structures équipées de ReFISH que sur les structures non équipées. Cependant, la petite échelle à laquelle cette étude a été menée ne permet que d'identifier des tendances. Par ailleurs, les ENI identifiées ne sont pas considérées comme étant invasives et ne présentent, pour l'instant, aucune menace majeure directe. Il est cependant possible de tirer certaines recommandations de cette étude. En effet, la

structure abritant le plus d'ENI est celle suspendue sous les pontons flottants. À partir de ce constat, nous préconisons de privilégier une installation des nurseries artificielles contre les quais plutôt que suspendues sous des pontons flottants.

## Conclusion

Ce rapport clôt les 4 années d'études réalisées sur les modules ReFISH installés dans 4 ports de la rade de Toulon. Les suivis écologiques réalisés par l'Ifremer ont permis de dénombrer 8 309 individus répartis en 46 espèces dont 55 % de YOY. Un total de 23 espèces d'intérêt économique ([www.fao.org](http://www.fao.org)) ont été observées sur les modules ReFish. L'installation benthique des juvéniles sur les modules Refish dans les ports de la rade de Toulon est donc effective. Les abondances annuelles de YOY ne varient pas significativement en fonction des années. Nous n'observons donc pas de phénomène de maturation du système.

Le rapport ReFISH 2021 démontrait que le nombre moyen d'individus par modules observé lors de chaque suivi ainsi que la richesse spécifique dans les différents sites et ports (SSM, TDN, TVD) présente une variabilité statistiquement non significative. Ainsi, plus un site ou un port est équipé de modules, plus les effectifs totaux de poissons observés semblent être importants. Cette tendance s'est confirmée lors des études suivantes. Le nombre maximal de module dans le port n'est donc pas atteint.

Pour que les dispositifs artificiels puissent être qualifiés de nurseries, il faut, en plus d'être capable d'accueillir des juvéniles, qu'ils constituent un environnement adéquat à leur croissance. L'étude de 2020 à 2022 d'une des espèces les plus abondantes sur les modules le sparailon (*D. annularis*) et en 2021 de son homologue la saupe (*Sarpa salpa*) démontre que les juvéniles connaissent sur les ReFISH de certains sites une période de croissance. Bien que leur taille augmente généralement avec le temps il existe une variabilité pouvant être liée à un recrutement tardif des individus juvéniles sur les modules d'un port et/ou une migration de ceux-ci moins évidente. Les modules ReFISH remplissent néanmoins sur ce point leur fonction écologique.

Bien que le choix géographique lors de l'installation des juvéniles semble être stochastique, deux tendances émergent. Dans un premier temps le port de Saint-Louis du Mourillon (modules installés en 2022) présente des densités d'individus plus importantes que les autres ports, YOY et tous poissons confondus. Les conditions plus favorables et la présence d'habitats naturels à proximité permettent certainement l'installation d'un plus grand nombre d'individus et d'espèces. Dans une seconde mesure, les juvéniles favorisent les quais aux pontons. Cela suggère que dans des conditions similaires, les modules fixés aux pontons ont été moins à même de remplir la fonction de nurserie souhaitant être réhabilitée. Nous recommandons donc au regard de nos résultats de favoriser une installation sur les quais.

On observe chaque année une concentration d'adultes autour et sur les structures. Les modules en plus de servir de nurserie pour les juvéniles semblent également attirer les individus adultes.

Enfin, les modules semblent bénéficier à des espèces non indigènes. Les ENI concernées par les études menées dans le port de Toulon ne sont pas aujourd'hui considérées comme invasives mais peuvent à terme générer des nuisances écosystémiques ou s'approprier des niches écologiques empêchant l'installation d'espèces indigènes. Les ENI sont plus présentes sous les pontons que sur les quais. Les futures installations de modules artificiels devraient privilégier les quais.

## Bibliographie

Lozano, Laura & Crec'hriou, Romain & Garsi, Laure-Hélène & Agostini, Sylvia & Lenfant, Philippe. (2015). Caractérisation de la diversité des post-larves de poissons en Méditerranée nord-occidentale et la variabilité de leur recrutement. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park.* 29. 135-165.

Airoldi, L., Beck, M., 2007. Loss, Status and Trends for Coastal Marine Habitats of Europe. *An Annual Review* 45, 345–405. <https://doi.org/10.1201/9781420050943.ch7>

Airoldi, L., Beck, M., Firth, L., Bugnot, A.B., Steinberg, P., Dafforn, K., 2021. Emerging solutions to return nature to the urban ocean. *Annual review of marine science* 13, 445–477. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032020-020015>.

Astruch, P., Lucken, A., Rouanet, E., Goujard, A., Montagne, G., 2017. Evaluation de l'efficacité des nurseries artificielles ReFish immergées dans le port de Bormes-les-Mimosas. *Contrat SUEZ Consulting– GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Marseille* : 73 p.

Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F., Weinstein, M.P., 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *BioScience* 51, 633–641. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0633:TICAMO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2)

Bouchouca, M., 2017. Les zones portuaires peuvent-elles servir de nourriceries alternatives pour les poissons marins côtiers ? : cas des sars en Méditerranée Nord-occidentale (Thèse de doctorat). Université de perpignan via domitia.

Clynick, B., 2006. Assemblages of fish associated with coastal marinas in north-western Italy. *J. Mar. Biol. Ass. U.K* 86, 847–852. <https://doi.org/10.1017/S0025315406013786>

Dahlgren, C.P., Kellison, G.T., Adams, A.J., Gillanders, B.M., Kendall, M.S., Layman, C.A., Ley, J.A., Nagelkerken, I., Serafy, J.E., 2006. Marine nurseries and effective juvenile habitats: concepts and applications. *Marine Ecology Progress Series* 312, 291–295.

Doherty, P.J., 1991. Spatial and temporal patterns in recruitment. *The ecology of fishes on coral reefs* 509, 261–293. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092551-6.50015-5>

Félix-Hackradt, F.C., Hackradt, C.W., Treviño-Otón, J., Pérez-Ruzafa, A., García-Charton, J.A., 2013. Temporal patterns of settlement, recruitment and post-settlement losses in a rocky reef fish assemblage in the South-Western Mediterranean Sea. *Mar Biol* 160, 2337–2352. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2228-2>

Ferrario, J., Gestoso, I., Ramalhosa, P., Cacabelos, E., Duarte, B., Caçador, I., Canning-Clode, J., 2020. Marine fouling communities from artificial and natural habitats: comparison of resistance to chemical and physical disturbances. *AI* 15, 196–216. <https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.2.01>

Gauff, R.P.M., Joubert, E., Curd, A., Carlier, A., Chavanon, F., Ravel, C., Bouchouca, M., 2023. The elephant in the room: Introduced species also profit from refuge creation by artificial fish habitats. *Marine Environmental Research* 185, 105859. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105859>

Mercader, M., 2018. Rôle des infrastructures portuaires dans le maintien des populations de poissons côtiers Apports de la restauration écologique (Océanologie). Université de Perpignan via domitia.

Morris, R.L., Chapman, M.G., Firth, L.B., Coleman, R.A., 2017. Increasing habitat complexity on seawalls: Investigating large- and small-scale effects on fish assemblages. *Ecology and Evolution* 7, 9567–9579. <https://doi.org/10.1002/ece3.3475>

Pastor, J., 2008. Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale. Université de Perpignan; Ecole pratique des hautes études, EPHE PARIS.

Ruitton, S., 1999. Les communautés benthiques et nectobenthiques associées aux aménagements littoraux en Méditerranée nord-occidentale. (Science de l'environnement marin). Université Aix-Marseille II.

Tempesti, J., Langeneck, J., Maltagliati, F., Castelli, A., 2020. Macrobenthic fouling assemblages and NIS success in a Mediterranean port: The role of use destination. *Marine Pollution Bulletin* 150, 110768. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110768>

Vigliola, L., 1998. Contrôle et régulation du recrutement des Sparidae (Poissons, Téléostéens) en Méditerranée : importance des processus pré- et post-installation benthique (These de doctorat). Université Aix-Marseille 2.

P. Louisy, *Poissons marins d'Europe et Méditerranée*. p.105, Editions Eugen Ulmer.

*d'Europe et Méditerranée*. p.105, Editions Eugen Ulmer.